# 耐落下衝撃性改善Pbフリーはん だボールの開発

伊達正芳<sup>\*</sup> 藤吉優<sup>\*</sup> 佐藤光司<sup>\*\*</sup> Masayoshi Date Masaru Fujiyoshi Koji Sato

Development of Pb-free Solder Ball with High Drop Impact Reliability

> Sn-Ag-Cu系Pbフリーはんだボールを用いたBGAはんだ接合部における耐落 下衝撃性の改善を,はんだ組成を最適化することで試みた。はんだ中Ag含有 量の影響について調査した結果,Ag量を下げることではんだの延性が改善さ れ,はんだバルク内での破壊が促進されることがわかった。また,Geの微量 添加は電解Ni/Auめっき上に形成される金属間化合物の成長を抑制し,接合 界面の強度低下を抑えるのに有効であることを見出した。その結果,新規Pb フリーはんだとして選定したSn-0.3Ag-0.7Cu-0.1GeはんだやSn-1Ag-0.5Cuは んだは,現在の業界標準Pbフリーはんだ組成であるSn-3Ag-0.5Cuと比較して 優れた耐衝撃性を有した。しかし,低Ag化によりクリープ抵抗が低下するた め,熱サイクル疲労寿命が短くなる傾向を示した。

> Sn-Ag-Cu based Pb-free solder alloy has been designed for BGA solder joints from the viewpoint of mechanical drop impact reliability as well as thermal fatigue reliability. We found that reducing the Ag content in the solder contributed to increasing the bulk failure rate due to an enhanced ductility. In addition, doping Ge is effective in suppressing bond strength degradation during aging because of the slow IMC growth on electroplated Ni/Au. Consequently, Sn-0.3Ag-0.7Cu-0.1Ge and Sn-1Ag-0.5Cu showed excellent impact reliability compared to commercial standard Pb-free solder alloy, Sn-3Ag-0.5Cu. In terms of thermal fatigue reliability, however, both solders were not as good as Sn-3Ag-0.5Cu, because of poor creep resistance.

# ● 緒 言

携帯電話などのモバイル機器に使用されるICパッケージ(以降, PKGと称す)では,高密度実装化が一段と進行しており, PKG底面にはんだバンプを配することで小型化したBGA(Ball Grid Array)やCSP(Chip Scale Package)が多く採用されている<sup>1)</sup>。このようなPKGでは, PKGとプリント配線基板(以降,基板と称す)との熱膨張差によって生じる熱応力や,不注意でモバイル機器を落とした際に負荷される衝撃応力を,はんだバンプが変形することで緩和する必要がある。

このため,従来のリードフレーム型PKGよりも,はん だ接合部への負担が過酷になっている。加えて,'06/7 より施行されるRoHS(Restriction of the Use of Certain <u>Hazardous</u>Substances)指令に代表される,近年の環境 規制に伴い,Sn-3Ag-0.5CuやSn-4Ag-0.5CuなどのPbを 含まないSn-Ag-Cu系はんだの採用が進んでいるが,従 来のSn-Pb共晶はんだよりも延性に乏しいSn-Ag-Cu系は んだは瞬間的に負荷される衝撃応力を十分に緩和できな い。結果として,はんだ接合界面で容易に破壊すること が深刻な問題となっており,耐落下衝撃性に優れたPb フリーはんだに対するニーズが急速に高まっている。

Sn-Ag-Cu系はんだ接合部の耐衝撃性を改善する方法 として,次の二つが考えられる。一つは,はんだの延性 を改善して変形能を高めることであり,Sn-Ag-Cu系は んだにおけるAgやCu含有量を最適化することで可能で ある<sup>2)</sup>。もう一つは,はんだ接合界面の強度を向上させ ることであり,はんだに界面反応を制御できるような元 素を微量添加することで可能である<sup>3)</sup>。そこで本研究で は,まずAgおよびCu含有量の最適化と有効添加元素の 探索を目的とした基礎検討を行った。

次に,基礎検討の結果をもとに耐衝撃性が改善される と思われるはんだ組成を選定し,基板落下試験を実施し た.併せて,温度サイクル試験(Thermal cycling test, 以降,TCTと称す)も行い,熱サイクル疲労特性を評価 した。

<sup>\*</sup> 日立金属株式会社 冶金研究所

<sup>\*\*</sup> 日立金属株式会社 安来工場 Ph.D

#### ② 耐衝撃性改善に関する基礎検討

#### 2.1 実験方法

電解Ni/Auめっき(10µm/0.7µm)を施した0.25mm の電極上に,均一液滴噴霧法により作製した0.3mmの はんだボールを用いてはんだバンプを形成し,接合強度 を測定した<sup>4</sup>)。強度測定に使用したバンププルテストの 概略図を図1に示す。試験速度は0.3mm/sとし,強度測 定に加え破壊箇所の特定も行った。基礎検討に供したは んだ組成を表1に示す。Ag含有量を0.3~3mass%の間で 変化させ,溶融温度が230以下となるようにCu量を調 整した。また,GeとAlを添加元素として選定し, 0.1mass%添加したときの影響について調査した。リフ ローはんだ付け温度は240とし,PKGの発熱によるは んだ接合部の劣化挙動を把握するため,接合後に150 で500h放置した試料も作製した。



図1 バンププルテスト概略図

Fig.1 Schematic diagram of bump pull test.

#### 表1 基礎検討に用いたはんだボール

Table 1 Chemical composition of solder ball for preliminary examination.

Allow	Element (mass%)					
Alloy	Ag	Cu	Ge	AI	Sn	
SAC0307	0.3	0.7	-	-	Bal.	
SAC105	1	0.5	-	-	Bal.	
SAC305	3	0.5	-	-	Bal.	
SAC305G	3	0.5	0.1	-	Bal.	
SAC305A	3	0.5	-	0.1	Bal.	

#### 2.2 評価結果

プルテストの結果を図2に示す。各はんだに対して二 点ずつ示されているが, 左側はリフロー後, 右側は高温 放置後の値である。また破壊モードは,バルク破壊(は んだ内での破壊,図中a),複合破壊(バルク破壊と界 面破壊の混合,図中b),界面破壊(接合界面での破壊, 図中c)の3つに分類されている。図2から明らかなよ うに,強度や破壊箇所ははんだ組成に依存し,Ag含有 量の増加とともに強度が増すものの, 接合界面で破壊し やすい傾向を示した。また,Geの添加は一層の強度上 昇を伴い,リフロー後は約半数が界面破壊した。一方, 高温放置により無添加材は界面破壊確率が大幅に上昇し たが,SAC305Gではバルク破壊が大半を占め,評価し たはんだの中で最も信頼性の高い結果となった。これに 対してSAC305AはSAC305Gと逆の様相を呈し、リフロ -後はバルク破壊のみであったが,高温放置後は界面破 壊し,強度が著しく低下した。

ここではんだバンプ断面組織を図3に示す。リフロー により,はんだとめっき層との間に金属間化合物が形成 されるが、EDX分析および微小部X線回折を行った結果、 SAC305Aのみ(Ni,Cu) $_{a}$ Sn $_{4}$ であり、それ以外のはんだで は(Cu,Ni,Au) $_{6}$ Sn $_{5}$ であることがわかった。また SAC305Gでは、化合物中にごくわずかなGeの存在が確 認された。一方、はんだバンプ内部には、微細なAg $_{3}$ Sn 晶に加え、粗大なAuSn $_{4}$ 針状晶が観察されたが、 SAC305AのみAuSn $_{4}$ 中に10at.%程度のNiが検出された。 また、高温放置によりいずれのはんだでも界面化合物が 成長したが、SAC305Gでは成長速度が一様で、化合物 とはんだの界面が平滑であった。一方、SAC305Aでは (Ni,Cu) $_{3}$ Sn $_{4}$ の上部に粗大な(Au,Ni)Sn $_{4}$ が析出してい た。



図 2 バンププルテスト結果(左:リフロー後,右:高温放置 後,a:バルク破壊,b:複合破壊,c:界面破壊)

Fig. 2 Bump pull strength and failure modes. (left: as-reflowed; right: annealed; (a): bulk fracture, (b): bulk/interfacial fracture, (c): interfacial fracture).



図3 はんだ接合部断面組織

Fig.3 Cross-sections of solder bumps before and after annealing.

### 2.3 はんだボール組成選定

プルテストの結果から,Ag含有量を下げることでは んだの延性が改善され,接合界面よりもはんだバルク内 で破壊しやすくなることがわかった。また,Geの添加 ははんだの延性を損ねるが,高温放置時には界面化合物 の成長を一様にし,接合強度の低下を抑える効果がある ことを見出した。一方,Alを添加した場合,高温放置に より接合界面に脆いAu-Sn化合物が堆積するため,接合 強度が著しく低下した。以上の結果を踏まえ,耐衝撃性 改善はんだの候補組成として表2に示すはんだを選定 し,ボードレベル接合信頼性試験を実施した。SAC105 はAg含有量を3mass%から1mass%まで低減し延性の向 上を図ったはんだ,SAC0307GはAg含有量をさらに下げ, 化合物成長抑制効果のあるGeを添加したはんだである。 なお,SAC305およびSPは比較材である。

表 2 ボードレベル接合信頼性試験に供したはんだボール Table 2 Chemical composition of solder balls for board level evaluation.

Alloy	Element (mass%)					
	Ag	Cu	Ge	Pb	Sn	
SAC0307G	0.3	0.7	0.1	-	Bal.	
SAC105	1	0.5	-	-	Bal.	
SAC305	3	0.5	-	-	Bal.	
SP	-	-	-	37	Bal.	

## ❸ ボードレベル接合信頼性試験

#### 3.1 実験方法

#### 3.1.1 試料調製

ボードレベル接合信頼性試験に供したPKG,基板およびはんだの仕様を表3に示す。PKG側および基板側電極のソルダーレジスト開口径は,それぞれ0.25mm,0.28mmであり,PKG側が若干小さい設計とした。また,試験中にはんだ接合部の導通が確認できるよう,PKGと基板とがデイジーチェーン回路を構成するような配線を形成した。なお,PKG側電極には電解Ni/Auめっきが施されており,基板側電極には一般的に使用されているCu/OSP(Organic Solderability Preservative)を採用した。

はんだ付けは,まず水溶性フラックスを塗布したPKG 側電極に0.3mmのはんだボールを搭載し,リフローは んだ付けした後,はんだペーストを印刷した基板側電極

Tabe 3 Test vehicle specifications for board level reliability tests.

	PKG size (mm)	13 × 13 × 1	
BGA	Chip size (mm)	7.2 × 7.2 × 0.4	
	Pad diameter (mm)	0.25	
	Pad pitch (mm)	0.5	
	Pad opening	Solder mask defined	
	Number of pads	345	
	Surface finish	Electroplated Ni/Au	
	Board size (mm)	132 × 77 × 1 (for drop test)	
PWB		24 × 24 × 1 (for TCT)	
	Pad diameter (mm)	0.28	
	Pad opening	Non solder mask defined	
	Surface finish	OSP	

に接合することで行った。はんだペーストの組成は,**表** 2に示すPbフリーはんだボールに対してはSn-3Ag-0.5Cu, Sn-Pb共晶はんだボールに対してはSn-Pb共晶と した。またリフロー温度は,Pbフリーはんだに対して は240 ,Sn-Pb共晶はんだに対しては220 とした。

#### 3.1.2 基板落下試験

基板落下試験はJEDEC規格(JESD22-B111)に準拠 した方法で実施した。基板落下試験装置の模式図と,試 験片の外観写真をそれぞれ図4(a)(b)に示す。一枚の 基板に対して15個のPKGを搭載し,各PKGに形成された デイジーチェーン回路のバイアスを試験中監視すること で,断線の有無を確認した。また,加速度センサをドロ ップテーブルにセットし,テーブルに負荷される衝撃波 が1500G,0.5ms半正弦波となるように落下高さを調節 した。落下回数は50回とし,累積不良確率を求めた。



#### 図 4 JEDEC規格準拠基板落下試験:(a 試験装置模式図,(b) 試験片外観写真

Fig. 4 Board level drop test based on JEDEC standards: (a) schematic diagram of drop tester; (b) photograph of test vehicle.

#### 3.1.3 温度サイクル試験

温度サイクル試験はJEITA規格(ET-7407)に準拠し た方法で実施した。ヒートプロファイルを図5に示す。 高温側は125 ,低温側は-40 とし,各温度で10min保 持した。また,試験中デイジーチェーン回路の抵抗変化 を監視し,試験前の初期抵抗値から20%上昇した時点 を破壊と見なし,疲労寿命を求めた。



図 5 温度サイクル試験におけるヒートプロファイル Fig. 5 Heat profile at thermal cycling test based on JEITA standards.

#### 3.2 実験結果

#### 3.2.1 基板落下試験結果

基板落下回数と累積不良確率との関係について,ワイ ブルプロットしたものを図6に示す。図から明らかなよ うに,業界標準組成であるSAC305が,評価したはんだ の中では最も少ない落下回数で初期不良に至った。また, SAC305のワイブルプロットの傾きは小さいことから推 測されるように,不良発生落下回数がPKG間で大きくば らつく結果となった。一方,低Ag系はんだである SAC105とSAC0307GはSPを上回る寿命を示し,ばらつ きも小さく安定していた。

ここで,SAC305およびSAC0307Gを用いて実装した PKGにおける,落下試験後のはんだ接合部断面組織をそ れぞれ図7(a)(b)に示す。断面観察の結果,クラック の発生は,PKG側はんだ接合部と,基板側基板内部の二 箇所に認められたが,図7に示されるように,破断に至 ったのは全てPKG側はんだ接合部であった。また,はん だ組成によってクラック進展箇所が異なっており,高信 頼性を示したSAC0307G,SAC105とSPでははんだバル ク内,SAC305では接合界面に沿ってクラックが進展し ていた。さらに,図7(a)の接合部端部に見られるよう に,SAC305やSAC105といったCu含有量が0.5mass%の はんだでは,PKG側電極からの化合物が部分的に剥離し ている様子が観察された。



図 6 BGAはんだ接合部の耐落下衝撃性 Fig. 6 Drop impact reliability of BGA solder joints.



図7 落下試験後のはんだ接合部断面組織

Fig. 7 Cross-sections of BGA solder joints after drop test.

#### 3.2.2 温度サイクル試験結果

熱サイクル数と累積不良確率との関係について,ワイ ブルプロットしたものを図8に示す。落下試験結果と同 様に,はんだ組成によって熱サイクル疲労特性は変化し, Ag含有量の高いSAC305が最も長い寿命を示した。一方, 落下試験において高信頼性を示したSAC0307Gは,SPと ほぼ同等の値を示し,SAC105はSAC0307GとSAC305の ほぼ中間に位置する結果となった。また,ワイブルプロ ットの傾きは,Ag含有量の増加とともに若干小さくな る傾向があるが,落下試験ほどの有意差は認められなか った。

ここで,SAC305およびSAC0307Gを用いて実装した PKGにおける,温度サイクル試験後のはんだ接合部断面 組織をそれぞれ図9(a)(b)に示す。断面観察の結果, クラックの発生ははんだ接合部内にのみ認められたが, 図9に見られるように,はんだ組成によってクラック進 展箇所が異なっており,長寿命を示したSAC305では, 電極サイズがPKG側と比較して大きいにも関わらず,基 板側のはんだ接合界面をクラックが進展していた。これ に対して,低Ag系はんだとSPは全てPKG側のはんだバ ルク内をクラックが成長していた。



図 8 BGAはんだ接合部の熱サイクル疲労特性 Fig. 8 Thermomechanical fatigue lives of BGA solder joints.



図 9 温度サイクル試験後のはんだ接合部断面組織 Fig. 9 Cross-sections of BGA solder joints after thermal cycling test.

#### 43考察

基板落下試験において,Ag含有量の少ないはんだほ ど高い信頼性を示したが,温度サイクル試験では逆に信 頼性を損ねる結果となった。これは,前者がはんだの延 性,後者がはんだのクリープ特性に依存しており,両特 性がトレードオフの関係にあるためである。Sn-Ag-Cu 系はんだの場合,はんだ中のAgやCuは,Snと反応して

金属間化合物を形成する。このため, AgおよびCuの含 有量が高くなるほどSnマトリックス中に分散する金属 間化合物の量が多く,結果として転位の活動が阻害され るため延性が低下する。一方, Sn-Ag-Cu系はんだは融 点が220~230 であり,室温でもクリープ変形するこ とが知られている5)。また,変形傾向は拡散クリープに よることが報告されており<sup>6)</sup>, 金属間化合物の分散はク リープ抵抗の上昇につながる。以上のようなことから、 SAC0307GやSAC105は, SAC305と比較して大幅に耐衝 撃性が改善されるものの,熱サイクル疲労特性は低下し 短寿命を示す。ただし,いずれの特性も従来のSn-Pb共 晶はんだと比較して同等以上であることから,耐衝撃性 と熱サイクル疲労特性を兼ね備えた新規Pbフリーはん だ組成として有望と思われる。また,基板落下試験と温 度サイクル試験の両方において, クラックがはんだ内部 を進展しており, PKG間の寿命のばらつきも相対的に小 さいことから,疲労寿命を予測しやすいことが予想され る.

また本研究では, Sn-Ag-Cu系はんだにGeとAl添加す ることで,電解Ni/Auめっき上での化合物の構成や成長 速度が大きく変化することを確認した。ここでCu-Ni-Sn 三元系およびAu-Ni-Sn三元系平衡状態図をそれぞれ図10 (a)(b)に示す<sup>7).8</sup>。Sn-Ag-Cu系Pbフリーはんだは, 90mass%以上がSnであるため,対象となる範囲は純Sn 近傍の組成領域に相当する。電解Ni/Auめっき上に形成 される金属間化合物は、はんだ中のCu,NiおよびAuの 濃度によって大きく左右される。図10(a)から窺えるよ うに、(Sn)と共存できる相にはCu,Sn,タイプの結晶構 造を有する金属間化合物と,Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>タイプの金属間化合 物があり、いずれの化合物もCuまたはNiの格子サイト に相互に固溶することが可能である。一方,図10(b)に 示されるように,Cuを含まないAu-Ni-Sn三元系の場合, (Sn)はNi<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>およびAuSn<sub>4</sub>との共存が可能である。注目 すべき点は、(Sn)やAuSn<sub>4</sub>と平衡状態にあるNi<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>中に、 Auは全く固溶できないことである。また, AuSn<sub>4</sub>におけ るAuの格子サイトには,Niが固溶可能であることも示 されている。

前述のように、電解Ni/Auめっき上に形成される化合物には、 $Cu_8Sn_5$ タイプとNi $_3Sn_4$ タイプの二種類あり、はんだ中のCu濃度とNi濃度によってどちらの化合物が安定であるかが決定される。Sn-Ag-Cu系はんだの場合、0.2mass%Cu以下ではNi $_3Sn_4$ 、0.5mass%Cuを超える領域ではCu $_8Sn_5$ がそれぞれ安定であり、その間では両者の共存が可能であることが報告されている $^{9,10}$ 。

このことから,本研究において評価された,Cuを 0.5 mass%含有するはんだ(SAC105,SAC305, SAC305G,SAC305A)はNi<sub>8</sub>Sn<sub>4</sub>-Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>共存域とCu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>安 定領域との境界付近,0.7 mass%含有するはんだ (SAC0307,SAC0307G)はCu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>安定領域に位置するこ とが予想される。しかし,**図3**に示したように, SAC305Aにおいて接合界面に形成された化合物は, Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>タイプではなくNi<sub>8</sub>Sn<sub>4</sub>を基本構造とするものであ った。そこで,Al添加の影響をより詳細に調査するため Sn-3Ag-0.5Cu-0.5Alはんだを作製し,ミクロ組織を観察 した。その結果を**図11**に示す。図から明らかなように, Sn-3Ag-0.5Cu-0.5AlはSnマトリックス中にAlCu, Ag<sub>2</sub>Al, Ag<sub>3</sub>Snの3種類の金属間化合物が分散した組織を呈して おり, Cu<sub>s</sub>Sn<sub>s</sub>は存在しなかった。つまり, Alを添加した はんだにおいて, CuはSnよりもAlとの反応性が高く, 1:1の原子比,質量比に換算すると約3:7の割合で優先的 にAlと結合することがわかる。このことから, SAC305A の場合,Cu含有量のほぼ半分に相当する0.23mass%の CuはAlCuを形成し, Snとの反応に費やされるCuは 0.27mass%しか残っていない計算となる。これは,Cu-Ni-Sn三元系においてほぼNi<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>が安定な領域に位置する ため,結果として接合界面にはNi<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>タイプの化合物が 形成されたものと考えられる。また,先に述べたように, Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>が安定して存在する場合,AuはNi<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>中に固溶せ ず (Au,Ni)Sn<sub>4</sub>としてのみ存在し得ることから,リフロ ー時にはんだバルク内に形成された (Au,Ni)Sn₄が,高 温放置時に安定サイトを求めて拡散した結果,(Ni,Cu) <sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>上に堆積したものと考えられる。以上のような接合 界面における (Au,Ni)Sn<sub>a</sub>の再析出が, Al添加はんだに おいて接合強度を著しく低下させ,接合界面での破壊を 助長したものと考えられる。



図10 三元系平衡状態図 :( a )Cu-Ni-Sn系 ,( b )Au-Ni-Sn系 Fig. 10 Ternary phase diagrams: (a) Cu-Ni-Sn system; (b) Au-Ni-Sn system.

一方,図3に示したように,AuはCu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>のCuの格子 サイトに固溶することが可能であり,Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>が安定して 存在する限り,(Au,Ni)Sn<sub>4</sub>の形成による著しい強度低下 を招かないことが推測される。また,図7において観察 されたように,Cu含有量が0.5mass%の場合には界面化 合物の剥離が発生していたが,これは0.5mass%含有す るはんだがNi<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>-Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>共存域とCu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>安定領域との境



図11 Sn-3Ag-0.5Cu-0.5Alはんだミクロ組織

Fig. 11 Microstructure of Sn-3Ag-0.5Cu-0.5Al solder.



図12 Sn-3Ag-0.5Cu-0.5Geはんだミクロ組織 Fig. 12 Microstructure of Sn-3Ag-0.5Cu-0.5Ge solder.

界付近に位置しており,界面反応が不安定なことに起因 しているものと推測される。以上のような点から, Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>を基本構造とする化合物を安定して形成すること が,電解Ni/Auめっき上での接合信頼性を確保する上で 重要であることが予想され,Cu含有量を0.7mass%まで 増加させることで達成できるものと思われる。

また本研究では、Ge添加による電解Ni/Auめっき上での化合物成長抑制効果を確認した。前述のように、図3 に示されたSAC305Gにおける界面化合物中にGeが検出 されたが、検出量がごくわずかであり、Geが接合界面 のどこに位置しているかは未だ特定できていない。そこ で、Sn-3Ag-0.5Cu-0.5Geはんだを作製し、ミクロ組織を 観察した。その結果を図12に示す。これから窺えるよう に、GeはSn、Ag、Cuのいずれとも反応せず、Ge単体と して晶出することがわかる。このためGeは、界面化合 物である(Cu,Ni,Au),Sn<sub>5</sub>の結晶粒界、あるいははんだ と化合物との界面に濃化しているものと推測される。今 後、接合界面のTEM観察を行い、界面反応におけるGe の作用を究明する。

# ⑤ 結 言

Sn-Ag-Cu系はんだにおける耐衝撃性改善を試みた結果,以下のような知見が得られた。

(1) Ag含有量を1mass%以下に下げることで,はんだの 延性が増し,耐衝撃性が大幅に改善された。一方, 熱サイクル疲労特性は低Ag化により低下するが, Sn-Pb共晶はんだと比較して同等以上であった。

- (2) Cu含有量を0.7mass%まで増加することで,電解 Ni/Auめっき上に安定なCu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>タイプの化合物を形 成することができ,接合界面におけるAu-Sn化合物 の堆積や,化合物剥離による接合強度の低下を抑制 した。
- (3) Geの添加より高温放置時の化合物の成長が抑制され, 接合強度の低下が抑えられた。
- (4) Alが添加された場合,電解Ni/Auめっき上に形成さ れる化合物は(Ni,Cu)<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>であり,(Au,Ni)Sn<sub>4</sub>の濃 化に起因した著しい接合信頼性の低下を招いた。

## 参考文献

- 1)伊藤ら: 日経エレクトロニクス, 9-26 (2005) 36.
- 2 ) K.S.Kim et al., J. Alloys Comp. 352 (2003) 226.
- 3 ) K.S.Kim *et al.*, Microelectron. Reliab. 43 (2003) 259.
- 4) 佐藤ら:第15回エレクトロニクス実装学会学術講演 大会講演論文集(2001)135.
- 5 ) F.Guo et al.: J. Mater. Electron. 30 ( 2001 ) 1222.
- 6)藤吉ら: Proc. Mate 2005 (2005) 177.
- 7) K.N.Tu *et al.*: Mater. Sci. Eng. R34 (2001) 1.
- 8 ) S.Anhock *et al.*, Proc. 22nd IEEE/CPMT Berlin Int. Manufact. Tech. Symp. (1998) 156.
- 9 ) W.T.Chen et al.: J. Mater. Res., 17 (2002) 263.
- 10 ) Y.D. Jeon et at.: Proc. 53rd ECTC (2003) 1203.



伊達正芳 Masayoshi Date 日立金属株式会社 冶金研究所



藤吉優 Masaru Fujiyoshi 日立金属株式会社 冶金研究所



**佐藤光司** *Koji Sato* 日立金属株式会社 安来工場 Ph.D